原

著

アマルガムの膨縮変化に関する研究：

II. 上, 中, 下 3 層の横方向膨縮変化

清水 恵

東京医科歯科大学保存学教室 (指導 総山孝雄教授)

(昭和 37 年 10 月 12 日受付)

Dimensional Change of Dental Amalgam :

Part II. Lateral Dimensional Changes

in Top, Middle and Bottom Layers

Megumu Shimizu

Department of Operative Dentistry, School of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University

(Director : Prof. Takao Fusayama)

緒 言

著者は第 I 報¹⁾において、従来の練和開始後 15 分から測定を開始する方法では見落とされていたアマルガムの初期の膨縮変化を明らかにするために、空気マイクロメーターを用いて、練和開始 5 分後すなわち試片完成直後から測定をおこなった。そして測定開始からの 10 分間に、急激でしかも大きな初期収縮が起つていること、そしてこの初期収縮に各種操作条件の影響が著明に現われることを確めた。そして真に臨床的な意義をもつ膨縮変化の値を得るには、填実終了直後から測定をおこなう必要があることを明らかにした。

さて従来膨縮変化の測定は、アメリカ歯科医師会材料規格²⁾やその他の規格³⁾にしたがって、高さ 10 mm の円柱形試片の縦方向についてのみおこなわれるのが一般であつた。しかし実際に辺縁封鎖に係るものは主として窩洞入口付近の横方向の膨縮変化である。ここでもしアマルガムが全体

均質につくられるならば、縦方向に測定しようと横方向に測定しようと得られる成績には変りはないであろう。しかしアマルガム充填が全体均質でないこと、上, 中, 下の各層でその態度が異なることを疑わしめる報告が見うけられる。

Strader⁴⁾は、increasing dryness method で窩洞下部に使う軟泥のみでつくった試片が $19 \mu\text{cm}$ 、上部に使う硬泥のみでつくった試片が $6 \mu\text{cm}$ の縦方向の膨張を示したことより、窩洞内部において、アマルガムの膨縮変化が部分的に異なるであろうと推測した。また Wilson, Phillips および Norman⁵⁾は、アマルガム充填物の辺縁部には、どのテクニックを用いても、中心部より水銀が多く残留することを報告している。

さらに Fischer と Lehwald⁶⁾は、アマルガム試片を上, 中, 下の 3 部分に切断分割して、その各部分について縦方向の膨縮変化を測定し、膨張は上部で一番大きく、中部, 下部の順に小さくなる傾向を示したと報告した。

堀部⁷⁾は最近アマルガム試片の縦および横方向の膨縮変化を測定し、縦方向に比して横方向では膨張が小さかったと報告した。しかしながらこの場合には横方向全体についての測定がおこなわれており、試片の上および下層の性質の違いに関しては触れていない。

かようにアマルガム充填の膨縮変化量には、方向的あるいは部分的に差異があることを示唆する報告が多く、従来一般に用いられてきた縦方向の膨縮測定値をもつて直ちに窩洞の封鎖能力と関係づけてよいのかどうかは、さらにそれらの問題を検討したうえでなければ判らない。

そこで本研究においては、主としてアマルガム試片の上、中、下の各層において、その各層の横方向の膨縮変化を測定し、それを第Ⅰ報¹⁾に報告した縦方向の膨縮変化の成績と比較した。また上、中、下各層における残留水銀量およびヌープ硬さを測定して、それらと膨縮量の変化との関連性を検討した。

実験方法

1. 材料と試片調製

合金粉は、第Ⅰ報¹⁾と同じ製造番号の微粒アマルガム粉(松風マイクロアロイ、バッチナンバー CEEBF 16)を用いた。合金粉は試片毎に 1.6 g を計量した。

合金水銀比は、製造者指示にしたがつて 1:1.4 とした。

練和は、中央に突起を有する改良型乳鉢乳棒を用いて、1分間の荒練りと5秒間の仕上げ練りをおこなった。

余剰水銀の搾出は、填実直前のアマルガム泥が 1:1.2 の比率になるまでナイロン布でおこなった。

次にできたアマルガム泥を、総山式輸送充填器で約8回直径4mm、高さ10mmの不銹鋼製押出式モールド中に送入し、各インクレメントについて直径3mmのポイントをつけたアマルパックで5~7回づつ填実をおこない、3分間で填実操作を終了した。この時の充填圧は、圧力規制装置

で1kgに一定した。

填塞が終了したら、直ちに表面をカミソリで平らに削り、モールドより試片を押出した。これらの操作条件は、第Ⅰ報¹⁾の試片調製条件のC群と同じである。なお試片調製時の室温は $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ に一定した。

2. 膨縮変化の測定

膨縮変化の測定には、空気マイクロメーターを用いた。その原理および測定法については、第Ⅰ報で詳細に述べたので省略する。

37°C の恒温箱内に装置した空気マイクロメーター測定スタンド上に“横方向膨縮変化測定用台”を置き、填塞終了直後の試片をこの台の上に横たえた。この台は本実験のために特に設計されたものであつて、図1に示すようなクロームメ

図1 横方向膨縮変化測定用台および小突起付カバーガラス 単位 mm

ッキの真鍮板である。すなわち、平行な2本のピンが台に垂直に植立され、そこから1cm離れたところに、横たえた円柱試片の位置を一定させるための浅い溝が設けられた。この溝の曲率半径は

試片よりも大きくし、この溝が試片の膨張を抑制しないようにした。試片を溝に安置したら、そのうえにアクリル樹脂の小突起（幅 0.5 mm、高さ 1 mm）をつけたカバーガラスを載せる。小突起は、試片の測定すべき個所に接触させる。したがってカバーガラスは、ピンと試片との 3 点で水平に支えられる。空気マイクロメーターのノズルは、このガラス面の試片の上に調節され、そして試片のその部分の膨縮変化が測定される（図 2）。

本実験では、円柱試片の上下両端より各 1 mm

図 2 横方向膨縮変化測定台に円柱形試片を安置し、カバーガラスをのせて、その上に空気マイクロメーターの測定ノズルを調節する。

および中央の 3 個所について、各々 10 例づつ測定をおこなった。測定開始は、練和開始 5 分後からおこない、それから第 I 報と同じ時間間隔¹⁾で値を読みとった。

3. 残留水銀量の測定

膨縮変化の測定に用いた試片より任意に抽出した 3 個の試片を上、中、下にはぼ 3 等分し、その各部分における水銀、その他の成分組成を分析測定した。

分析法としては、従来チオシアネート滴定法^{8) 9) 10)}、Crawford と Larson^{11) 12) 5) 13)}の方法など、いずれも水銀の沸点が他の成分よりも低いことを利用して、アマルガムを加熱することにより水銀を分離した後、滴定ないしは重量減少を測定する方法が用いられてきた。しかし水銀蒸気は有毒であり、蒸発後再び採取する操作が難かしく、

また沸点の低い亜鉛が随伴して蒸散する恐れも考えられる。

最近、藤井、辻、堀部^{14) 15) 16) 17)}は、定電位電解法¹⁸⁾についての一連の研究で、EDTA 試薬を用いて銀、銅と分離の困難な水銀を正確に電解分析する方法を銀錫アマルガムの分析に応用し、良好な成績を得たと報告した。したがって本研究においても、分析術式は全て藤井、辻、堀部のそれにしたがって、銀、銅、水銀の 3 成分は定電位電解法によって分析した。

すなわち、電解は柳本製電子管式自動定電位電解装置 VE-3 型でおこない、電解用のセルには 200 ml のピーカーを用いた。陰極は白金円筒電極、陽極は白金らせん電極である。参照電極としては飽和甘汞電池を用い、陰極電位を限定しながら電解をおこなった。また電解中、柳本製マグネティックスターラーを用いて電解液の攪拌をおこなった。

他の錫、亜鉛については、沈澱法による重量分析をおこない、酸化錫 (SnO_2) および燐酸亜鉛 ($\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$) として分離定量した。電解液の調製および分析操作手順をまとめて図 3 に示した。

4. 硬さの測定

膨縮変化の測定に使用した試片で 3 カ月以上経過して安定したものをを用いた。まず試片をポリエステル中に包埋し、流水で冷却しつつレジンスクで縦に半截した。この縦断面を砥石および酸化クローム懸濁液の上澄を使つたバフで研磨した。

硬さは Leitz のヌープ微小硬度計を用いて測定した。荷重は 50 g、15 秒とした。測定部位は、試片の縦の中心線上の 1 mm 間隔の 9 個所で、この各々の個所に 3 個の圧痕を打ち込み、これを 3 個の試片について繰り返して、合計 9 個の圧痕から平均値を求めてその部位の硬さとした。

また参考までに上下面および側面から 20, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 700 μ 離れた部位の硬さも同様に測定した。

成 績

1. 上、中、下 3 層の横方向膨縮変化

図3 アマルガム定量分析手順図解

図4 上, 中, 下3層の直径4 mmの横方向膨縮変化の測定値

直径4 mmのアマルガム試片の上, 中, 下3層における横方向の膨縮変化を測定して, 図4に示すような成績を得た。この成績を1 cm 当りの変化量に換算してグラフに表すと図5となる。表Iは, この図5の成績より, 初期最大収縮と初期最大膨張との量と時期および24時間後の膨縮量をまとめたものである。

これらの図表から明らかなように, アマルガムの膨縮変化は, 上, 中, 下の各層においてかなり異つていた。そして収縮, 膨張ともに各3層の間で一定の規則的な移行を示した。すなわち, 試片

図5 図4の測定値を長さ1cm に対する変化量に換算したもの

表Ⅰ アマルガム試片上, 中, 下3層における横方向膨縮変化率 (μ/cm) の平均値と標準偏差と到達時間

測定部位	初期最大収縮 (到達時間)	初期最大膨脹 (到達時間)	24時間後の 膨脹
上 層	-4.7 $\pm$ 0.7 (35分)	7.8 $\pm$ 1.9 (10時間)	7.1 $\pm$ 1.6
中 層	-5.0 $\pm$ 0.4 (40分)	5.2 $\pm$ 1.5 (9時間)	4.4 $\pm$ 1.4
下 層	-8.4 $\pm$ 0.6 (45分)	-0.1 $\pm$ 1.9 (7.5時間)	0.4 $\pm$ 1.9

上層では、初期最大収縮に最も速く達して収縮量が小さく、その後は最も大きく膨張し、かつ最大膨張値に達するまでに一番長く時間がかかった。下層では逆に、最も遅く最大収縮値に達して収縮が最も大きく、その後の膨張は一番小さく、かつ最大膨張値に一番早く達した。中層における変化は、ほぼ両者の中間の経過を示した。

また下層では、初期最大膨張値に達した後、その値を持続する水平部なく、直ちに第2次の収縮に移行し、まもなく再び膨張して、24時間後には

図6 縦全長の膨縮率と上, 中, 下3層の横方向膨縮率の平均値との比較

初期最大膨張値よりも大きな膨張を示した。これに対して中層および上層では、24時間後の値は、初期最大膨張値よりもわずかに低かった。

次に測定方向と膨縮変化の関係調べるために、上, 中, 下3層の横方向膨縮変化量の平均値の変化と第Ⅰ報¹⁾に報告した縦方向膨縮変化とを図6に比較した。この図にみられるように、両者はほとんど一致した値および経過を示した。

2. 上, 中, 下各層の残留水銀量

膨縮変化の測定に用いた3個の試片の上, 中, 下3層の分析結果を表Ⅱに比較した。表にみられるように、残留水銀量は試片上層で一番多く、中層, 下層の順にわずかつ減少していた。

表Ⅱ アマルガム定量分析結果(%)

試片	部 位	水 銀	銀	錫	銅	亜鉛
1	上 層	55.51	29.49	12.50	1.31	痕 跡
	中 層	53.18	30.93	13.17	1.37	痕 跡
	下 層	53.05	31.05	13.44	1.42	痕 跡
2	上 層	55.75	28.68	12.42	1.83	痕 跡
	中 層	53.30	31.23	11.73	2.35	痕 跡
	下 層	53.10	30.99	12.99	1.59	痕 跡
3	上 層	55.95	29.39	12.18	1.82	痕 跡
	中 層	53.21	31.27	13.10	1.81	痕 跡
	下 層	53.08	31.19	12.93	1.82	痕 跡

3. 上, 中, 下3層のヌープ硬さ

試片各層のヌープ硬さを測定し, そのうち膨縮変化測定部位の硬さをまとめて表Ⅲに示した。各層の硬さ測定値の差は統計学的に有意のところと

表Ⅲ アマルガム円柱試片上, 中, 下3層の硬さの比較

測定部位 (表面よりの距離)	ヌープ硬さ
上層 (上面より 700~1000 μ)	135 $\pm$ 11
中層 (上下面より 5000 μ)	143 $\pm$ 11
下層 (下面より 700~1000 μ)	130 $\pm$ 8

無意のところとがあつたが, 残留水銀量の最も多い上層が特に軟かいという傾向はみられず, 一番硬いのは中層で, 下層の硬さが最も低かつた。

また参考までに試片中層の硬さを横に1mmおきの3個所において測定したが, 139, 138, 140とほとんど同様の硬さを示した。なお試片の外表面に近い20~100 μ の部分では, 硬さ測定値が著しく低下していた。試片の上, 下および側面から

の深さに応ずる硬さの変化を図7と8に示した。かような表層における硬さ測定値の低下は, flowによりヌープ圧子が入りやすくなるための測定誤差に基くものであつて, 本来の硬さの低下ではないと考えられる¹⁹⁾。また試片の表層部はとかくポラスになりがちな傾向がみられたので²⁰⁾, こんなことも影響しているかも知れない。

図8 アマルガム円柱試片縦断面における側面に近接した層のヌープ硬さの変化

図7 アマルガム円柱試片縦断面における, 上面および下面に近接した層のヌープ硬さの変化

考 察

1. 上, 中, 下3層の横方向膨縮変化

すでに緒言において述べたように, アマルガム円柱試片の上, 中, 下の3層で膨縮変化量が異なることは, Fischer と Lehwald⁶⁾ によつて報告されているが, その測定は縦方向にのみおこなわれており, しかもその測定値にははなはだしいバラツキがあつて統計学的に有意の差がでていない。これは試片を充填終了直後に3部分に分割切断してから測定したので, その分割操作によつて大きな誤差を生じたためであろう。

本実験においては, 測定値のバラツキがはるかに小さく, 統計学的にも明らかに有意の差をもつて, 一定の傾向を示す値が得られた。これは充填終了直後の軟弱な試片に切断等の機械的な外力を加えることなくそのまま測定したためと, もうひとつは測定の器具方法の精度が高かつたことのためであろう。

本研究では, 特に各層の初期収縮の起り方について極めて興味ある明確な差異がみいだされたのであるが, これは従来の研究者に見落とされていた充填終了直後の膨縮変化を空気マイクロメーターによつて把握したためである¹⁾。

また本実験において, アマルガム充填の窩洞入口層における横方向の膨縮変化が初めて測定されたのであつて, その値は臨床的なアマルガム充填の封鎖性に対して一層直接的な参考試料になるものと考えられる。

次に本研究により試片の上層は最も初期収縮小さく, その後の膨張が大きく, 中層がこれにつき, 下層は最も初期収縮大きく, その後の膨張が少ないことが明らかにされたのであるが, このような差が現われた原因としては次のようなことが考えられる。まず試片上層には, 下層よりも幾分反応の進んだアマルガム泥が用いられることである。練和終了後充填するまでにアマルガム泥を放置する時間が長くなる程水銀が多く反応して余剰水銀の搾出が困難となり, 試片内に残留する水銀量が多くなることは, すでに Phillips¹³⁾ そして宮

津, 中村²¹⁾ によつて報告されている。本実験では充填に3分かけているので, 上層のアマルガム泥は, 下層に使われたアマルガム泥に比較して, 充填されるまで少なくとも2分以上放置されているので, 水銀が比較的除かれ難くなつてから充填されたことになるし, 浮きだした水銀もまざり易い。したがつて上層には水銀が下層よりも多く残留するのであつて, このことは分析値によつて明らかである。そしてこのために膨張が増大したものと考えられる。

さらにいまひとつの原因として, 試片上層は, 下層に比較して, 充填圧を受ける時間が短いことである。充填圧が小さくても長時間にわたつて反復充填されると, 大きな充填圧を短時間加えたのとはほぼ同じ効果を膨縮変化におよぼすものと考えられる。したがつて上層は, 下層よりも小さな充填圧を受けた場合と同じ結果になり, 水銀が多く残留して膨張が増大する傾向が現われたものと考えられる^{22) 23) 24) 25) 26)}。上層において膨張最大値が下層よりも遅く現われたのは, 充填圧を受ける時間が短かいので, 水銀と他の相との接触が弱く反応が遅延したためであろう²⁷⁾。

さらに試片の上, 中, 下各層における膨縮変化が異なることから, 他の物理的性質にも差があるのではないかと考え, ヌーブ微小硬さを測定したが, 部位による明らかな差がなく, しかもむしろ一番硬いのは中層であつて, 水銀含量の最も少ない下層の硬さがかえつて最も低かつた。この成績は従来の学説^{27) 28) 29)} に基づいて説明することのできないものであつた。

2. 縦および横方向膨縮変化の比較

図6に示したように, 上, 中, 下3層における横方向膨縮変化値の平均値の変化は, 縦方向膨縮変化とよく一致した。したがつて, 縦方向全長の膨縮変化のパーセンティジが各層の縦の膨縮変化率の平均値として表わされたものと考えれば, 各層別においてのそれぞれの縦と横の膨縮変化率はほぼ均一であつたものと想像せざるをえない。

Fischer と Lehwald の報告⁶⁾ では, 上, 中, 下に3分割した各試片の縦方向膨縮変化測定値を加

えても、当然一致すべき分割前の試片の示した値よりも著しく小さくなっていたが、これは恐らくできあがつたばかりの試片に外力を加えて分割したことによる技術上の誤差によるものであろう。

堀部⁷⁾は、径4 mm、高さ4 および6.5 mm の試片について縦および横方向の変化を測定比較し、横方向では常に縦方向よりも膨張が小さかったと報告しているが、これは各層で異なる横方向の膨縮率を1個所だけで測つたためであつて、各層毎に考えれば、試片は縦横に大体均等に膨張収縮していることを本研究の成績は示していた。

なお臨床上辺縁封鎖に重要な関係をもつのは窩洞の入口に近い上層の横方向膨縮変化であつて、この層は他層より膨張しやすく、各層の膨縮率の平均値のみを表わす試片縦方向全長の膨縮率測定値をもつて、従来のように充填物の辺縁封鎖を論ずるのは不合理であると考えられる。すなわち、縦方向には収縮するような充填材料によつても、窩洞入口部のみにおいては膨張していることがありうるからである。本実験の試片調製時には、填塞終了直後に最上層約2 mmを削除したのであるが、もしもかような表層除去がなかつたり、もつと少なかつたりしたならば、充填物上層はいつそう残留水銀多く、大きく膨張するであろうということが容易に想像される。したがつて従来のように円柱試片が縦方向に収縮したからといつて、直ちに充填物辺縁に隙間ができるものと推定するのは誤りである。

総括ならびに結論

銀錫アマルガムの円柱形試片の上、中、下3層における横方向の膨縮変化を測定し、これをさらに縦方向全長の膨縮変化と比較した。測定法としては、第I報において報告した空気マイクロメーターを使用し、特に填塞直後すなわち練和開始後5分から測定を開始して、實際上意義ある測定値を得ることにつとめた。さらに試片上、中、下3層の膨縮率の差の原因を検討するために、各層の残留水銀量およびヌープ硬さを測定した。

本研究により次のような新知見が得られた。

1. 試片の上、中、下3層における横方向の膨縮変化には、著明な規則的階段的な差異が認められた。すなわち、上層においては、初期収縮が一番小さく、その後の膨張が一番大きかつた。下層においては、逆に初期収縮が一番大きく、膨張が一番小さく、中層はその両層の中間に位する成績を示した。

初期最大収縮値に達するまでの時間は、上層で一番短かく、中層、下層の順に長くなり、初期最大膨張値に達するまでの時間は、上層が一番長く、中層、下層の順に短くなつた。ことに下層は初期膨張後まもなく後期収縮を起し、1日たたないうちに再び後期膨張に移行する現象が見られた。

2. 上、中、下3層の横方向膨縮率の平均値は、縦方向全長の膨縮率ときわめてよく一致した。したがつて各層別には、縦横の膨縮変化率がほぼ均一であつたと推定される。

3. 残留水銀量は、試片上層で最も多く、中層、下層の順にわずかに減少し、膨縮変化との関連性を示す傾向が認められた。

4. 上、中、下3層におけるヌープ硬さの間には、かならずしも統計学的に有意の差が認められなかつたが、その傾向においては、中層が最も硬く、下層が最も軟かつた。この傾向は、上記の膨縮率や残留水銀量の変化と関連づけて従来の学説によつて説明することができないものであつた。

5. これを要するに、アマルガム充填の窩洞入口部の横方向膨縮率は、各層の平均値を代表する縦方向全長の膨縮率よりも大きな膨張率を示すことが判つたので、従来のように縦方向膨縮率により辺縁封鎖を考えるのは誤りである。これを論ずるために直接的な価値ある参考数値は、本研究において各層別に測定された上層部の横方向の膨縮率である。

稿を終るにあたり、終始御懇篤な御指導、御校閲をいただいた総山孝雄教授に深く感謝いたします。また定電位電解分析に関して器械器具を使わせてくださり、御教示いただいた国立衛生試験所療品部、部長藤井正道、辻楠雄、堀部隆の諸先生に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 清水恵：アマルガム膨縮変化に関する研究：I. 早期膨縮変化の測定，口病誌，28：359-372，1961.
- 2) American Dental Association Specifications for Dental Materials, 4th edition, 17-19, 1961.
- 3) Fédération Dentaire Internationale, Specification for Alloy for Dental Amalgam, International D. J., 9：421-423, 1959.
- 4) Strader, K. H.：Amalgam Alloy：Its Heat Treatment, Flow, Mercury Content and Distribution of Dimensional Change, J. A. D. A., 38：602-608, 1949.
- 5) Wilson, R. T., Phillips, R. W. and Norman, R. D.：Influence of Certain Condensation Procedures upon the Mercury Content of Amalgam Restorations, J. D. R., 36：458-461, 1957.
- 6) Fischer, C. H. und Lehwald, H.：Neuartige Untersuchung über die Dimensionsänderungen der Amalgame während der Erhärtung, D. Zahn, Mund und kieferhk., 20：463-480, 1954.
- 7) 堀部隆：銀アマルガムの硬化膨縮（充填の方向による差異について），歯材器学会誌，5：7-11, 1961.
- 8) Phillips, R. W. and Swartz, M. L.：Mercury Analysis of One Hundred Amalgam Restorations, J. D. R., 28：569-572, 1949.
- 9) Hillenbrand, G. E. and Lundell, W. F.：Applied Inorganic Analysis, New York, 1929, J. Wiley & Sons, Inc., p. 172.
- 10) 岩波理化学辞典：東京，1955，岩波書店，p. 838, p. 1144.
- 11) Crawford, W. H. and Larson, J. H.：Residual Mercury Determination Process, J. D. R., 34：313-317, 1955.
- 12) Swartz, M. L. and Phillips, R. W.：Residual Mercury Content of Amalgam Restorations and its Influence on Compressive Strength, J. D. R., 35：458-466, 1956.
- 13) Phillips, R. W.：Research on Dental Amalgam and its Application in Practice, J. A. D. A., 54：309-318, 1957.
- 14) 藤井正道，辻楠雄：定電位電解法の研究（第1報），EDTAを用いる銀合金の分析，歯材器学会誌，5：76-80, 1961.
- 15) 辻楠雄：定電位電解法の研究（第2報），EDTAを用いる水銀の電解分析，衛生試験所報告，79：7-10, 1961.
- 16) 辻楠雄：定電位電解法の研究（第3報），EDTAを用いる銀アマルガムの電解分析，衛生試験所報告，79：11-13, 1961.
- 17) 辻楠雄：定電位電解法の研究（第4報），EDTAを用いる銀，銅，および水銀の電解分析，歯材器学会誌，6：48-50, 1961.
- 18) 藤永太郎，武藤義一：定電位電解法，分析化学，4：321-332, 1955.
- 19) 片寄恒雄：アマルガムと金合金との唾液内接触に関する実験的研究，口病誌，29：81-95, 1961.
- 20) Schoch, P. und Loebich, O.：Die Porosität unserer Amalgamfüllung, D. Z. Z., 10：785-790, 1955.
- 21) 宮津一，中村悦三：微粒子の銀錫アマルガム「マイクロアロイ」の使用条件に関する研究，歯材器学会誌，5：12-17, 1961.
- 22) Gray, A. W.：Volume Change in Amalgam, J. Inst. Metals, 29：139-189, 1923.
- 23) Gayler, M. L. V.：Some Factors Affecting the Setting of a Dental Amalgam, Brit. D. J., 54：269-288, 1933.
- 24) Ward, M. L. and Scott, E. O.：Effect of Variations in Manipulation on Dimensional Change, Crushing Strength and Flow of Amalgam, J. A. D. A., 19：1683-1705, 1932.
- 25) Ware, A. L. and Docking, A. R.：The Effect of Manipulative Variables on Dental Amalgam, Austral. D. J., 58：283-287, 355-360, 1954.
- 26) 藤井正道，堀部隆：銀錫アマルガムの硬化膨縮について（第2報），衛生試験所報告，74：189-194, 1956.
- 27) Skinner, E. W. and Phillips, R. W.：The Science of Dental Materials, 5th edition, Philadelphia & London, 1960, W. B. Saunders Co., p. 373.
- 28) McHugh, W. D.：Experiments on the Hardness and Adaptation of Dental Amalgam as Effected by Various Condensation Techniques, Brit. D. J., 19：44-48, 1955.
- 28) 藤井弁治，葛下稔，辰己佑，片山伊九右衛門，藤野誠臣，坂本正，中井繁治：銀錫アマルガムの硬度についての研究補遺，日保歯誌，2：90-96, 1959.